降雨時における盛土内の含水量およびサクションの計測

鉄道総合技術研究所　正　○佐藤　武斗　正　松丸　貴樹
中央開発（株）　鈴木　丙午　平井　孝明

１．はじめに 近年，鉄道盛土では耐震補強工事が進められている．耐震診断・補強設計には，対象とする盛土から採取した地盤材料を飽和状態としたせん断試験から，土質諸数値を算定し，円弧すべり法などの安定解析に使用することが一般的である．しかしながら，補強仕様が甚大となる場合があり，耐震診断・補強設計の精度向上や補強仕様の削減の余地があるものと考えられる．本研究では，盛土内の水分量に着目し，不飽和状態における強度特性を考慮した耐震診断・補強設計を実用化することを目的としている．これまでに盛土内の水分計測方法の妥当性の検証[1)]，水分計測と数値解析による再現解析[2)]に取り組んできたが，経験降雨が限定的な条件下での計測結果であり，計測を継続している．本稿ではのり面工を施工していない試験盛土の降雨時および降雪・融雪時における盛土の含水量およびサクションを計測し，その変化について考察を行う．

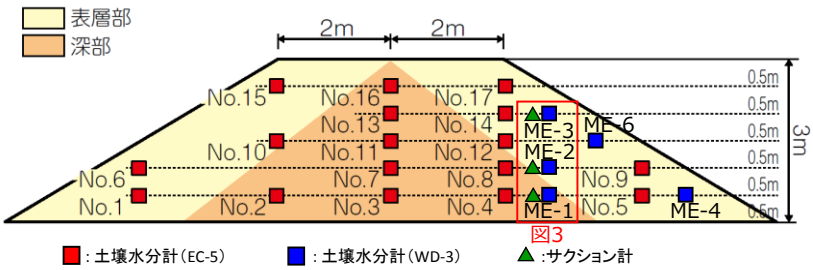


図１　試験盛土の断面図と計測器配置

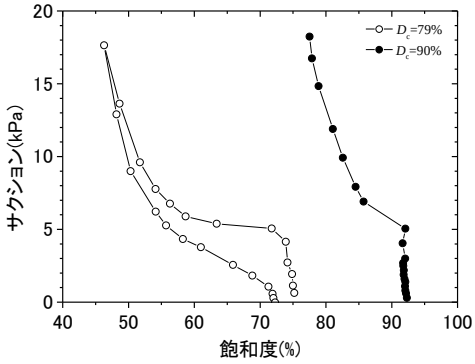


図２　盛土材料の水分特性曲線

２．試験盛土の概要　試験盛土の断面図を図 1 に示す．試験盛土は高さ 3.0m，のり勾配 1：1.5，天端幅 4.0m の寸法であり，細粒分質礫質砂(SFG)により構築されている．盛土材料の物理特性は，文献 1 を参照されたい．盛土材料の水分特性曲線を図 2 に示す．図中には密度を変えて実施した水分特性曲線を示しているが，締固め密度比 D_c=90%時には排水曲線のみ得られている．試験盛土の構築時には，平均で締固め密度比 D_c=90%を目標に構築した．土壌水分計には，誘電率土壌水分計 EC-5（Decagon device 製）および WD-3（A・R・P 製）を，サクション計には ML-2400AEL（モル製）を使用した．サクション計は，盛土ののり面で含水量の計測を行っている箇所の内，深度を変えた 3 箇所に設置した．

３．計測結果　2017 年 9 月 8 日～2018 年 3 月 13 日までの土壌水分計およびサクション計の計測結果を図 3 に示す．図中の降水量は盛土の立地箇所近くのアメダス府中のデータを使用しており，連続雨量は 24 時間降雨がない場合に 0mm とした．また，土壌水分計の結果は降雨により密度変化はないものと仮定して，飽和度で整理した．当該期間中の 2017 年 10 月 22 日には計測箇所に台風 21 号が到来しており，最大降雨強度 30mm/hr，連続雨量 337mm の降雨を経験している．当該降雨による飽和度の変化に着目すると，図 1 に示す ME-3 の箇所の土壌水分計は，降雨により大きく飽和度が増加したが，ME-1 および ME-2 では，飽和度の変化がほとんど見られなかった．台風 21 号の降雨の前後における盛土の飽和度のコンター図を図 4 に示す．降雨前のコンター図では，天端付近など一部に飽和度 90%程度の高飽和度の領域が確認されたが，それ以外の箇所では概ね飽和度が 60～80%程度であった，一方，降雨後のコンター図においては天端およびのり面の土被りの浅い箇所で飽和度が 90%程度まで増加したものの，盛土の中心部においては飽和度の変化が見られなかった．このような盛土の中心部の飽和度は降雨時であっても変化が見られない挙動は，これまでにも確認されていた[2)]が，最大降雨強度 36mm/hr，24 時間雨量 154mm と降雨条件が限定的であった．しかしながら，今回の計測により，最大降雨強度 30mm/hr，24 時間雨量 337mm の降雨であっても，盛土の深部では大きな飽和度の変化が見られなかった．

キーワード　不飽和土，飽和度，サクション，盛土
連絡先　〒185-8540　東京都国分寺市光町 2 丁目 8-38　（公財）鉄道総合技術研究所　ＴＥＬ042-573-7261

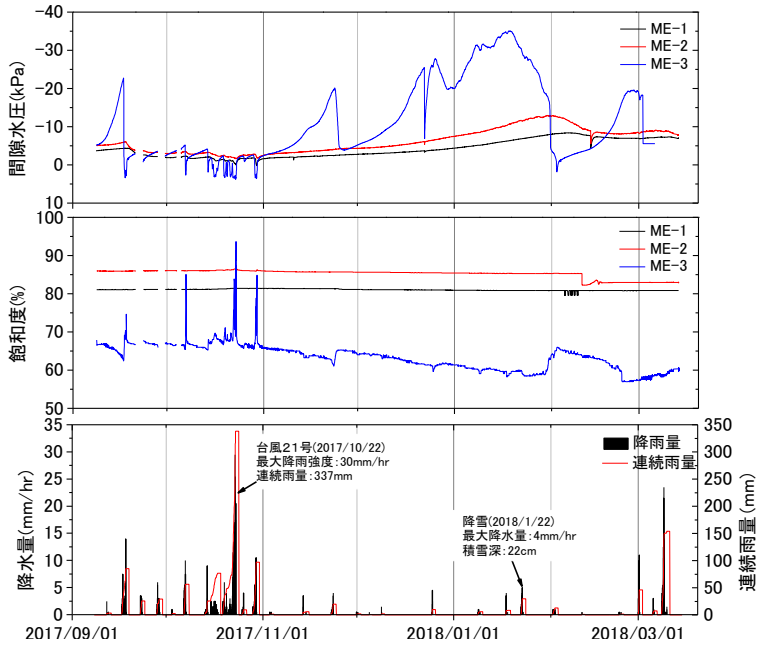
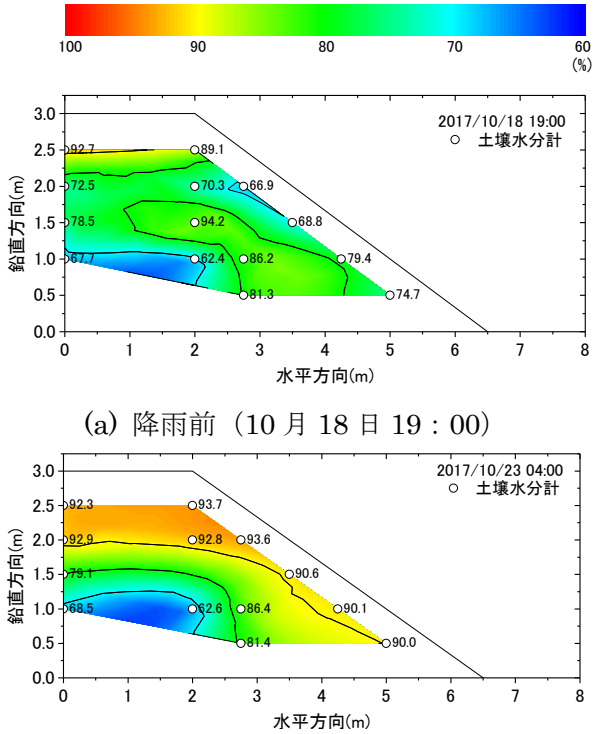


図 3　飽和度およびサクションの時刻歴
（2017 年 9 月 8 日～2018 年 3 月 13 日）



(a) 降雨前（10 月 18 日 19：00）

(b) 降雨後（10 月 23 日 04：00）

図 4　降雨前後における飽和度の分布図

間隙水圧の変化に着目すると，飽和度が大きく変化しなかった ME-1 および ME-2 においても間隙水圧の変化が確認された．図 2 に示す水分特性曲線では，盛土材料の密度が密となると飽和度の変化は微小であっても，サクションが大きく変化する傾向にあり，ほとんど飽和度の変化が見られなかった ME-1 および ME-2 においてサクションが変動する挙動と整合している．

2018 年 1 月 22 日に，当該箇所では降雪が確認されており，降雪およびその後の融雪による盛土内の飽和度の変化を評価した．当該期間中に盛土の表層で計測した飽和度の時刻歴を図 5 に示す．1 月 22 日の降雪により，試験盛土ののり肩からのり面には14～22cm の積雪が確認されており，1 月 29 日までに 5cm 程度まで融雪した．飽和度が増加する時期に着目すると，1 月 29 日～2 月 2 日の間に各計測点で飽和度の増加が確認された．つまり，1 月 22 日以降に緩やかに融雪したが，融雪水が計測点まで浸透する時間を要したものと考えられる．雪の単位体積重量は条件により変化するが，0.45 g/cm^3 と仮定 [3]すると融雪水は 99 mm の降雨と同程度である．融雪に伴い，図 5 に示す盛土の表層の計測点においては時間遅れを伴い，飽和度が増加することを確認した．

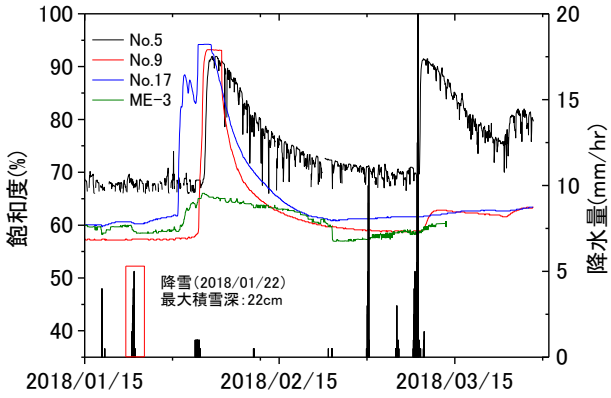


図 5　飽和度の時刻歴
（2018 年 1 月 15 日～3 月 13 日）

4．おわりに　本稿では，のり面工が施工されていない試験盛土において飽和度およびサクション計測を実施し，降雨時および降雪・融雪時について検討を行った．これまで降雨時においても盛土の深部では，飽和度の増加が確認されないことを確認していたが，最大降雨強度 30mm/hr，24 時間雨量 337mm の降雨においても同様の傾向にあることを確認した．しかしながら，サクションは盛土材料の水分特性曲線に依存して変化すると考えられる．また，降雪・融雪による飽和度増加は，融雪後に緩やかに飽和度が増加することを確認した．今後は，今回の計測結果を元に，のり面工を有する盛土の飽和度やサクションの変化について計測を実施し，検討を行う予定である．

参考文献　1)島田ら：盛土内部の含水状態計測に関する計測方法の検討，土木学会第 71 回年次学術講演会，Ⅲ-114，pp.227-228，2016．2)小湊ら：試験盛土による長期的な含水状態変動の計測と浸透流解析，土木学会第 72 回年次学術講演会，Ⅲ-087，pp.173-174，2017．3)丸善：鉄道構造物等設計標準・同解説　コンクリート構造物，2004.